

## مطالعه عوامل تاثیرگذار بر نوسانات تراز آب خزر جنوبی

شه‌میر اقتصادی<sup>\*</sup>، رفیع‌ه زاهدی

مرکز علوم جوی و اقیانوسی سازمان هواشناسی کشور

تاریخ پذیرش: ۸۹/۵/۲۷

تاریخ دریافت: ۸۹/۱/۲۲

## چکیده

دریای خزر به عنوان بزرگترین دریای بسته جهان، از نظر بین‌المللی دارای اهمیت زیادی می‌باشد. از نظر منابع نفت و گاز بسیار مهم است. هم‌چنین نقش شاخصی در زمینه‌های کشتیرانی، بازرگانی، اقتصاد ملی داشته و تاثیر زیادی بر آب و هوا و اقلیم منطقه می‌گذارد. این دریا به علت تنوع آب و هوایی، میزان تبخیر و درون ریز آب‌های شیرین، شرایط اقلیمی بسیار متفاوتی دارد. هم‌چنین نوسان تراز آب دریای خزر، نقش اساسی در تغییرات و دگرگونی‌های مناطق ساحلی ایفا می‌کند که گاهی به صورت پیشروی و گاهی به صورت پسروی اتفاق می‌افتد. یکی از مهمترین پدیده‌های دریای خزر، افزایش تراز آب آن در سال‌های اخیر می‌باشد. نوسانات تراز آب دریای خزر ممکن است حاصل عوامل مختلفی مثل تغییرات اقلیم، تغییر آب و هوایی حوزه آبریز، تغییر دبی رودخانه، بارش منطقه‌ای، تبخیر، دما، تنش باد، بالا آمدگی (surge)، تغییرات ریخت‌شناسی بستر دریا، تغییر در الگوی جابجایی اتمسفری و هم‌چنین فعالیت‌های بشری مثل ساخت سدها بر روی رودخانه‌های اصلی باشد. بیشتر مطالعات هواشناسی در منطقه دریای خزر و تراز آب با نتایج قابل قبولی همراه بوده است. در این تحقیق تغییرات تبخیر و بارش در ۵ ایستگاه ساحل جنوبی دریای خزر برای سال‌های ۲۰۰۸ - ۱۹۹۳ مورد مطالعه قرار گرفته و عوامل مؤثر بر بارش، تبخیر و دما در این دوره زمانی تعیین گردیده است. تبخیر متوسط محاسبه شده در این دوره زمانی ۹۲۲/۹ میلی‌متر است که از تبخیر محاسبه شده برای دراز مدت (۱۰۰۷ میلی‌متر در سال) کمتر است. میانگین بارندگی در سال‌های مورد مطالعه برای مجموع پنج ایستگاه خزر جنوبی ۱۲۹۲/۶ میلی‌متر است که از میزان بارش محاسبه شده برای دراز مدت (۲۲۱ میلی‌متر در سال) بیشتر است. بنابراین در ساحل جنوبی دریای خزر، افزایش بارش و کاهش تبخیر می‌تواند نقش مهمی در افزایش تراز آب دریا داشته باشد. هم‌چنین شاخص آماری و همبستگی بین پارامترهای جوی در این تحقیق مشخص و مورد بحث قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: تبخیر، دمای سطح دریا، بارندگی، نوسان تراز آب، دریای خزر جنوبی

<sup>\*</sup> نویسنده مسوول، پست الکترونیک: [seghtesadi@gmail.com](mailto:seghtesadi@gmail.com)

## ۱. مقدمه

سالیان متمادی پیشروی آب دریای خزر موجب شده که خسارات زیادی به اکوسیستم ساحلی، واحدهای مسکونی، تجاری و اداری، کشتیرانی و صیادی آن منطقه وارد آید. این مسئله، ایران و سایر کشورهای مجاور دریای خزر را با تهدید جدی روبرو ساخته است. اهمیت این حوضه نیز در حیات اقتصادی از نظر تولید ماهی، شیلات، آب مناسب برای آبیاری اراضی به دلیل شوری کم و ترکیب کانی مناسب، ذخائر عظیم نفت و گاز و موقعیت کشتیرانی، بر همگان آشکار است. از جهت دیگر نوسانات بارش سالانه، تبخیر سطحی، تغییرات دما در دوره گرم و سرد شدن کره زمین، میزان ورودی آب رودخانه‌ها، فعالیتهای صنعتی و آلودگی دریا توسط صنایع نفت و دیگر عوامل آلوده کننده منجر به تغییرات تبخیر نیز می شوند. از نظر جغرافیایی دریای مازندران بین طول های ۳۸ درجه و ۴۶ دقیقه غربی و ۳۴ درجه ۵۴ درجه شرقی و عرض ۳۴ درجه و ۳۶ دقیقه جنوبی و ۳۳ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و در شمال ایران واقع است و از نظر رژیم آب شناسی به بخش های شمالی، میانی و جنوبی تقسیم می شود. مساحت کل خزر جنوبی ۱۴۸۶۴۰ کیلومتر مربع است که ۴۰ درصد از مساحت کل دریا را به خود اختصاص داده است. بیشترین عمق آن از سطح دریای آزاد ۱۰۲۵ متر و عمق متوسط آن ۳۴۵ متر میباشد. عمیق ترین نقطه آن در نزدیکی سواحل ایران قرار دارد و برجستگی کف دریا بخش مرکزی را از جنوبی جدا می کند که در خارج از آب های ایران واقع است.

براساس تحقیقات رودینو (1994)، شرایط اقلیمی در تغییرات تراز آب خزر با اهمیت است و اثرات مربوط به رواناب قابل تعیین است. قانقرمه و همکاران (۱۳۸۴) مشخص کردند که تغییرات تراز آب دریای خزر تابع تغییرات ورودی رودخانه های منتهی به دریا و شدت تبخیر می باشد و نیز نوسانات ناگهانی کوتاه مدت ناشی از عوامل و مؤلفه های هواشناسی و هیدرولوژی است که به شرایط اقلیمی منطقه بستگی

دارد. باقری راد (۱۳۸۶) با بکارگیری سری زمانی نشان داد میانگین تراز آب خزر جنوبی از سال ۱۹۲۵ تا ۱۹۷۷ میلادی روند کاهشی و از سال ۱۹۷۷ تا ۱۹۹۸ روند افزایشی داشته است. عزیزپور مهمانداری (۱۳۸۶) با استفاده از داده های ماهواره های ارتفاع سنجی (Jeson-1, Topex Poseidon) به تحلیل تراز آب دریای خزر پرداخته است. اثرات تغییر اقلیم موجب شده است که دانشمندان زیادی، موضوعات تحقیقی و علمی در ارتباط با تغییر اقلیم را به منظور رسیدن به اهدافشان در نظر بگیرند. با پیشرفت دانش اقلیم در زندگی بشر، مطالعات گسترده ای در مورد اقلیم شناسی هواشناسی (دریایی) و اقیانوس شناسی فیزیکی در دریای خزر انجام گرفته است. این مطالعات برای تعیین دما، تبخیر، شوری، فشار، دانسیته، جهت باد، سرعت باد و مشخص نمودن کشند و امواج مختلف و نیز پدیده های مرتبط دیگر انجام می شوند.

دما: دما می تواند یکی از مهمترین عوامل محسوب گردد. در شمال دریای خزر نوسانات سالانه دما در مقایسه با جنوب دریای خزر، سریع تر تغییر می کند. به عنوان یک قانون عمومی، سواحل شرقی دریای خزر گرم تر و خشک تر هستند، در حالی که سواحل غربی سردتر و دارای رطوبت بیشتری می باشند. هم چنین کرانه های جنوبی دریای خزر به علت دما و رطوبت نسبتاً زیاد هرگز یخ نمی زنند.

تبخیر: همانطور که می دانیم فرآیند تبخیر آنقدر زیاد است که بدون روان آب بارندگی و تخلیه از حوزه های زیر زمینی، تقریباً همه اقیانوس ها خالی خواهند شد. اغلب آبی که از اقیانوس ها تبخیر می شود از طریق بارندگی به اقیانوس برمی گردد. ارزیابی در مورد تبخیر سطحی اقیانوس از موضوعات مهم اقلیم جهانی است. تبخیر سطح دریا با استفاده از داده های ماهانه تخمین زده می شود و برای پیش بینی پدیده ها و چرخش های جوی و اقیانوسی از اهمیت خاصی برخوردار است. تبخیر یکی از عوامل مهم اقلیمی است که در نوسان متوسط سالانه آب دریای خزر به

ویژه خزر جنوبی موثر می باشد. فرآیند تبخیر، گرما گیر است و به اختلاف دمای سطح آب و هوای مجاور آن، سرعت باد و نیز فشار هوا در سطح دریا بستگی دارد. به دلیل افزایش تبخیر در فصل های گرم سال در خزر جنوبی سطح تراز آب دریا کاهش می یابد.

بارش: بارش در سواحل جنوبی خزر اکثراً بصورت باران و گاهی بصورت برف و باران توأم است و ریزش برف به ندرت اتفاق می افتد. اساساً بارندگی در خزر جنوبی با مناطق دیگر آن مرتبط است و از غرب به شرق کاهش پیدا می کند. حداکثر بارندگی در پاییز و حداقل آن در فصل تابستان اتفاق می افتد. گرم شدن آب در تابستان و سرد شدن آب در زمستان باعث تغییر حجم آب و تغییر تراز آب به مقدار نسبتاً زیادی می شود.

تغییرات تراز آب دریای خزر عمدتاً تابع تغییرات ورودی رودخانه های منتهی به دریا و میزان تبخیر می باشد. از طرف دیگر نوسانات ناگهانی کوتاه مدت ناشی از عوامل و مؤلفه های هواشناسی و آب شناسی در مناطق ساحلی نیز می باشد که به شرایط اقلیمی مناطق مختلف ساحلی بستگی دارد و در نتیجه این گونه حوادث در نواحی مختلف نتایج کاملاً متفاوتی به همراه می آورند. معمولاً تاثیر دو عامل مهم باد و جریان های دریائی به طور همزمان، باعث تغییرات موقت تراز سطح آب دریا (surge) می شوند. بادهای شمال غربی در بخش شمالی دریا و یا در اطراف جزایر نزدیک سواحل، آب را پایین برده و بر خلاف آن باد قوی جنوب شرقی، سطح آب را بالا می آورد. هم چنین جریانهای ورودی آب ولگا در بالا دست در دو جهت شمال غربی و شمال شرقی، به سمت دریا روان می شوند. در بخش جنوبی نیز جریان چرخه ای دیگری اتفاق می افتد. در فصل زمستان به علت مسدود بودن تراز سطح آب (بر اثر یخزدگی بخش شمالی خزر) و وجود اختلاف دما با طبقات پایین تر، یک چرخه عمودی به صورت همرفت نیز صورت می گیرد. از لحاظ اقلیمی حداکثر آب ورودی به دریا

مربوط به فصول زمستان و بهار است و در واقع روند افزایش از بهمن تا اردیبهشت صورت می گیرد. در فصل تابستان کم آبی محسوسی مشاهده می شود و از خرداد تا آذرماه، روند آن رو به کاهش می رود. در فصلهای پرآبی وقوع همزمان پارامترهای هواشناسی موجب طغیان دریا و در نتیجه باعث تغییرات سطح آن می شود. عدم ارتباط دریای خزر با اقیانوس ها و دریاچه های آزاد و ثابت نبودن سطح آن یکی از خصوصیات عمده رژیم آبشناسی این دریا است و می تواند عامل اصلی تغییرات و نوساناتی باشد که نه تنها سال به سال بلکه ماه به ماه اتفاق می افتد.

در دهه های اخیر، بشر و عوامل متعدد طبیعی دیگر تغییرات سطح تراز دریای خزر را تحت تأثیر قرار داده اند. برخی از مهمترین عواملی که می توان از آن نام برد، به شرح زیر می باشند:

- ۱- پارامترهای هواشناسی از قبیل بارندگی، تبخیر و دما
  - ۲- تغییرات تابش خورشیدی
  - ۳- افزایش اثرات گلخانه ای
  - ۴- اثرات تکتونیک زمین و بالآمدگی بستر دریا
  - ۵- افزایش تعداد چشمه ها و دبی آن ها بر روی بستر دریا
  - ۶- عامل انسانی و کاهش تبخیر از سطح دریا به عنوان پیامدی از آلودگی نفتی
  - ۷- احداث سد در خلیج قره بغاز
  - ۸- حفر کانال ولگا
  - ۹- انحراف بستر رودخانه ها و آب های منتقل شده از دریاچه های حوضه های شمالی
- هم چنین ایجاد تغییرات در بستر رودخانه، دریاچه های مصنوعی، سدها و فعالیت های بشری در این مناطق باعث کاهش تراز آب خزر به کمترین مقدار تا سال ۱۹۷۷ شده است. اما از سال ۱۹۷۸ به بعد برخلاف پیش بینی های گذشته، تراز آب به طور پیوسته تا سال ۱۹۹۵ افزایش یافته است (به طور میانگین این مقدار حدود ۱۵ سانتی متر در سال است) و پس از آن پسروی مشاهده شده است. بالا

### ۳. نتایج

بر اساس نتایج به دست آمده در این تحقیق مشخص می شود که در خزر جنوبی در طی سالهای اخیر تبخیر روند کاهشی و بارندگی روند افزایشی داشته است. نتایج اندازه گیری های بعمل آمده این موضوع را تأیید می کند. بر اساس اندازه گیری مراکز تحقیقاتی نیز، افزایش میانگین پنج سانتی متر تراز آب خزر جنوبی در طی پانزده سال گذشته تأیید شده است. همچنین عامل موثر در تغییرات تبخیر خزر جنوبی در طی سال های اخیر متناسب با افزایش سرعت باد است. افزایش فشار هوا در سطح دریا نیز می تواند به مقدار کم در روند کاهش تبخیر خزر جنوبی موثر باشد. بر اساس نتایج این تحقیق، میانگین تبخیر در طی سال های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۸ برای کل ایستگاه های خزر جنوبی ۹۲۲/۹ میلی متر محاسبه شده است که از تبخیر محاسبه شده برای مدت زمان طولانی (۱۰۰۷ میلی متر در سال) کمتر می باشد. بنابراین تبخیر یک پارامتر موثر در تغییرات نوسان سطحی خزر جنوبی در طی این دوره است.

مقدار بارش متوسط برای این دوره ۱۲۹۲/۶ میلی متر محاسبه شده است. این مقدار در مقایسه با مقدار طولانی مدت (۲۲۱ میلی متر در سال) بیشتر است. بنابر این روند افزایش بارندگی در سال های اخیر در ایستگاه های جنوبی یکی از عوامل موثر افزایش نوسان سطح آب خزر جنوبی در این سال ها است. هم چنین نتایج آماری و همبستگی بین پارامترهای جوی در این تحقیق مشخص و مورد بحث قرار گرفته است.

نمودارهای دما برای هریک از پنج ایستگاه مورد مطالعه نشان می دهد که ضمن کاهش سریع دما در فاصله زمانی ۲۰۰۳-۲۰۰۰، از سال ۲۰۰۳ به بعد روند دما در هر پنج ایستگاه افزایشی است، اما میزان افزایش آن نسبت به قبل از سال ۲۰۰۰ کمتر می باشد. هم چنین روند نمودارهای تبخیر برای سال های ۲۰۰۳-۲۰۰۰ کاهشی و در سال های بعد و قبل آن، روند افزایشی یکنواختی وجود دارد. در واقع

آمدن سطح آب دریا زبان های اقتصادی و زیست محیطی را به مناطق کرانه ای وارد نموده است. ورود مواد آلوده کننده صنعتی به دریا و هم چنین استخراج نفت در مناطق ساحلی باعث کاهش غذای ماهیان دریا شده است.

جریان های ورودی و تبخیر، بیشتر از عوامل دیگر در تغییرات نوسانات سطح آب مؤثرند و مقادیرشان نسبت به مؤلفه های دیگر تفاوت قابل ملاحظه ای دارند. تبخیر از سطح خزر در مقایسه با جریان های ورودی از تأثیر کمتری در تراز آب برخوردار است. با استفاده از فرمول زیر می توان بالا آمدگی سطح آب را محاسبه نمود. در این فرمول  $h\Delta$  میزان افزایش تراز آب را نشان می دهد و مثال کاربردی آن برای منطقه جنوبی صخره روسیه و دامنه شمالی کاوکاسوس در جدول مشخص شده است.

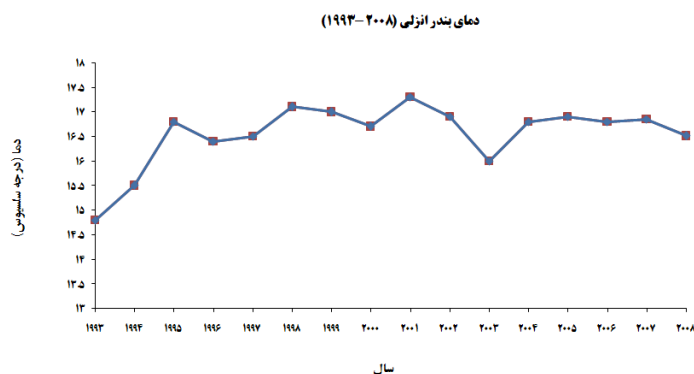
$$h = R + (P - E) + G - KBG\Delta$$

### ۲. مواد و روش ها

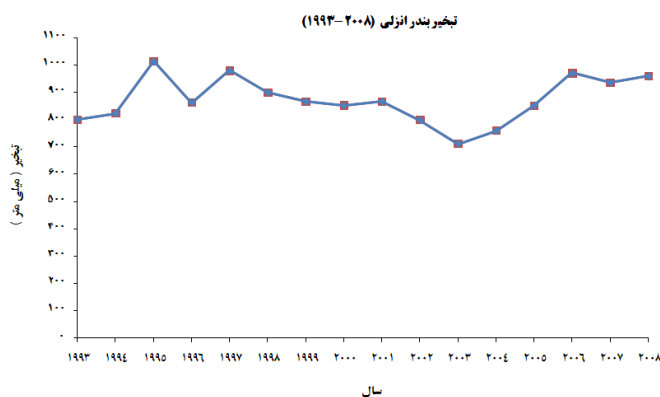
اطلاعات لازم برای این تحقیق از داده های خام سینوپتیک اقلیمی موجود در سازمان هواشناسی کشور شامل دما، تبخیر و بارندگی برای پنج ایستگاه ساحلی بابلسر، رامسر، نوشهر، آستارا و انزلی استخراج شده است. با انجام عملیات آماری، این اطلاعات به صورت ماهیانه و سالیانه محاسبه گردیده اند. هم چنین به دلیل وجود فاصله اطلاعاتی (gap) و نیز ناهمخوانی تعدادی از داده ها، با کاربست روش های آماری به تصحیح اطلاعات پرداخته و از روابط آماری شامل میانگین، انحراف معیار و همبستگی جهت انجام محاسبات استفاده شده است. نمودارهای مربوط به پارامترهای بارندگی، تبخیر و دمای ایستگاه های ساحلی با استفاده از نرم افزارهای Excel و Spss Professional رسم گردیده و تغییرات آنها مورد تجزیه تحلیل و مقایسه در فواصل زمانی معین قرار گرفته است.

و روند افزایش به طور متناوب برای هر پنج ایستگاه و در سال های متوالی تکرار شده است. هم چنین آنالیز هم بستگی بین پارامترهای تبخیر و بارندگی نشان می دهند.

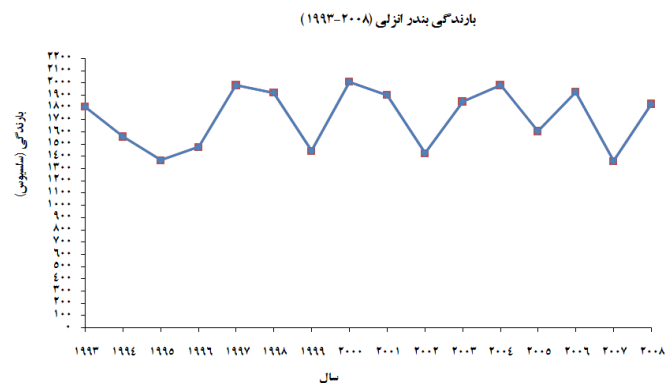
همبستگی بین نمودارهای دما و تبخیر در دوره زمانی مذکور به طور نسبی تأییدکننده این مسئله است. نمودارهای بارندگی در تمام ایستگاه ها تقریباً از الگوهای یکسانی برخوردار است. در واقع روند کاهش



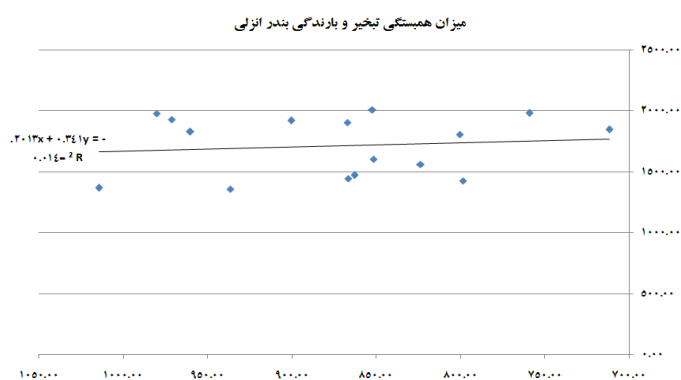
شکل ۱. تغییرات دمای ایستگاه بندر انزلی در سال های ۱۹۹۳-۲۰۰۸



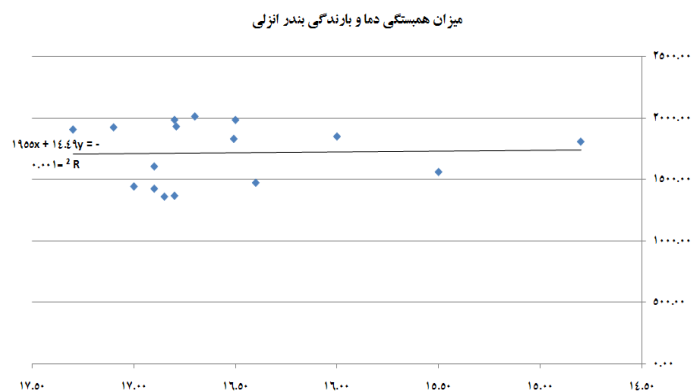
شکل ۲. تغییرات تبخیر ایستگاه بندر انزلی در سال های ۱۹۹۳-۲۰۰۸



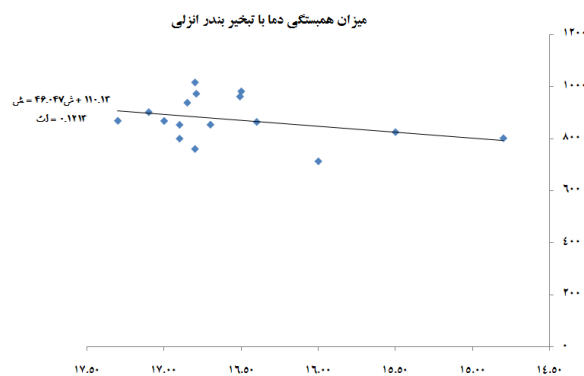
شکل ۳. تغییرات بارندگی ایستگاه بندر انزلی در سال های ۱۹۹۳-۲۰۰۸



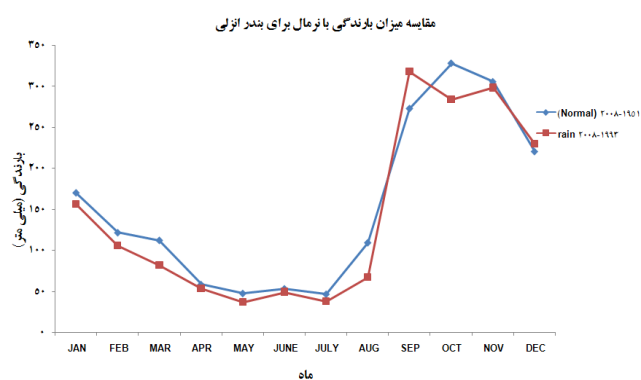
شکل ۴. میزان همبستگی بین تبخیر و بارندگی ایستگاه بندر انزلی در سال های ۱۹۹۳-۲۰۰۸



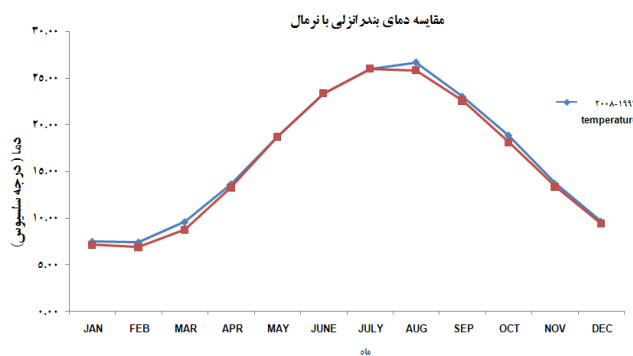
شکل ۵. میزان همبستگی بین دما و بارندگی ایستگاه بندر انزلی در سال های ۱۹۹۳-۲۰۰۸



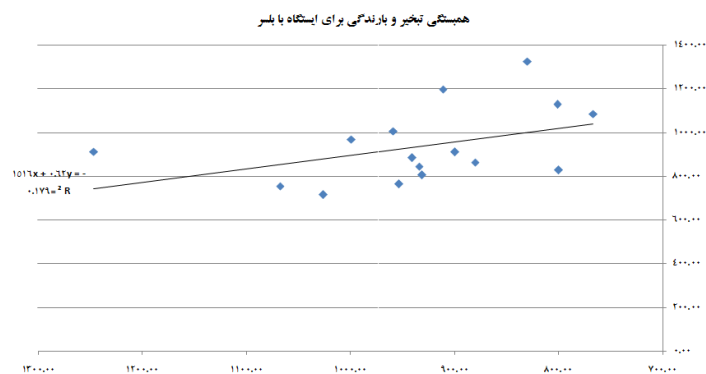
شکل ۶. میزان همبستگی بین دما و بارندگی ایستگاه بندر انزلی در سال های ۲۰۰۸-۱۹۹۳



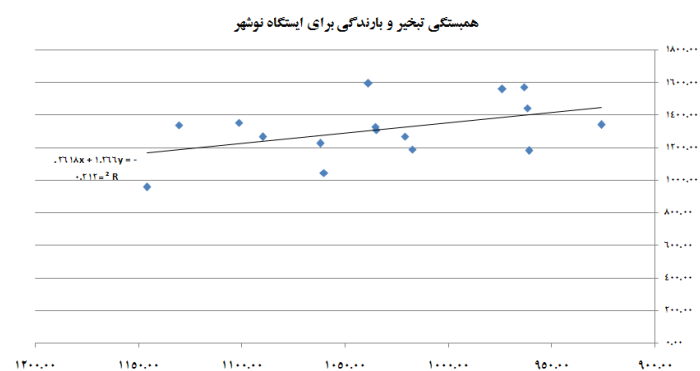
شکل ۷. مقایسه میزان بارندگی با روند نرمال ایستگاه بندر انزلی در سال های ۲۰۰۸-۱۹۹۳



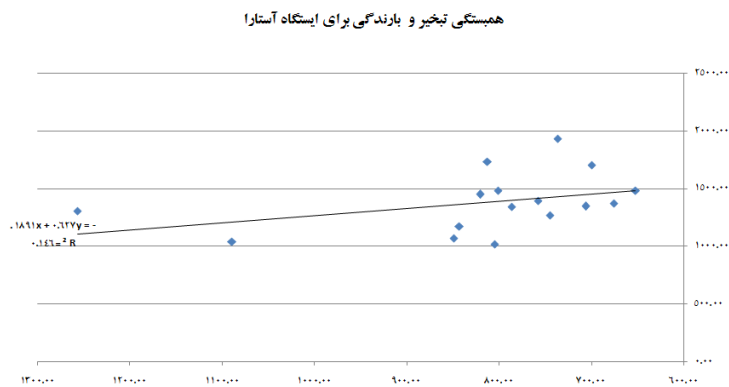
شکل ۸. مقایسه میزان بارندگی با روند نرمال ایستگاه بندر انزلی در سال های ۲۰۰۸-۱۹۹۳



شکل ۹. مقایسه میزان همبستگی تبخیر و بارندگی برای ایستگاه بابلر در سال های ۲۰۰۸-۱۹۹۳



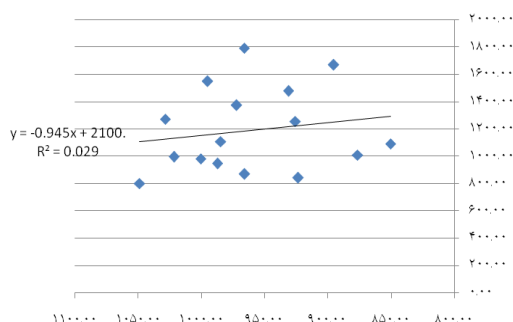
شکل ۱۰. مقایسه میزان همبستگی تبخیر و بارندگی برای ایستگاه بابلر در سال های ۲۰۰۸-۱۹۹۳



شکل ۱۱. همبستگی بین تبخیر و بارندگی برای ایستگاه آستارا در سال های ۲۰۰۸-۱۹۹۳

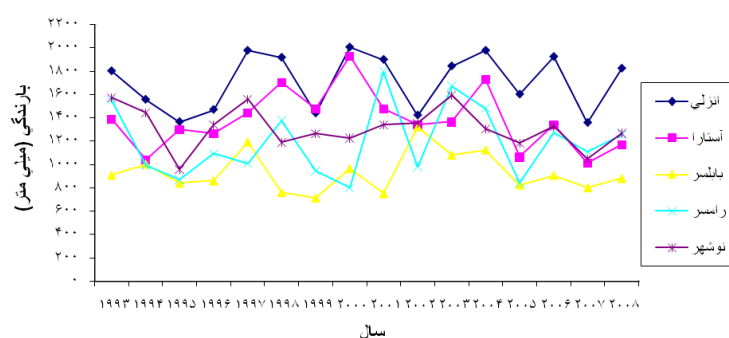


مقایسه میزان بارندگی با تبخیر برای ایستگاه رامسر



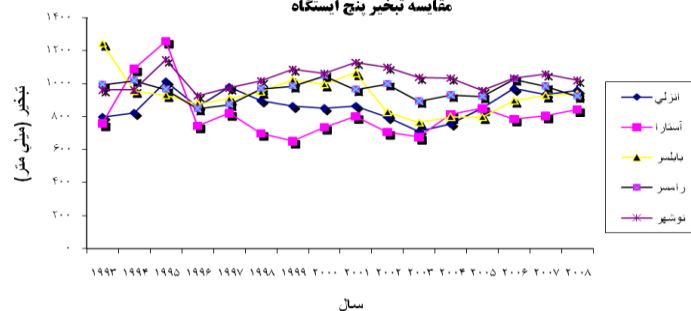
شکل ۱۲. مقایسه میزان همبستگی تبخیر و بارندگی برای ایستگاه رامسر در سال های ۱۹۹۳-۲۰۰۸

مقایسه بارندگی پنج ایستگاه



شکل ۱۳. مقایسه تبخیر پنج ایستگاه برای سال های ۱۹۹۳-۲۰۰۸

مقایسه تبخیر پنج ایستگاه



شکل ۱۴. مقایسه تبخیر پنج ایستگاه برای سال های ۱۹۹۳-۲۰۰۸

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق چگونگی تغییرات تراز دریا با استفاده از اطلاعات پارامترهای بارندگی، تبخیر و دما مشخص و برای پنج ایستگاه ساحل شمالی ایران

شامل بابلسر، رامسر، نوشهر، آستارا و انزلی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۳ دما کاهش می یابد و از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ دما افزایش می یابد.

پایدار سواحل ایران. پژوهش های جغرافیایی، ۵۴: ۱-۱۲.

Farahani, F. 2005. Review of Caspian Sea Fluctuation in Recent Years. Report of I. R. of Iran. Meteorological Organization, p15.

Islamic Republic of Iran Meteorological Organization, 1997. The Review and Scientific Study about Dominant Regular of Height Precipitation's Caspian Sea Coasts. p19.

Islamic Republic of Iran Meteorological Organization 2001. The Recent Report of Climate and Revolution at Mazandaran. p29.

Islamic Republic of Iran Meteorological Organization 2001. The Recent Report of Climate and Revolution at Gilan. p24.

Islamic Republic of Iran Meteorological Organization 2001. The Recent Report of Climate and Revolution at Golestan. p30.

Kardavani, P. 1995. Mazandaran Sea's Water Ecosystems. Qumes Publisher, p60.

Oceanic and Atmospheric Science Center, 2001. Caspian Sea Physical Oceanography and Marine Meteorology Developing plan. p25.

Oceanic and Atmospheric Science Center 2005. National Report of I. R. of Iran on Hydrometeorological and Pollution Monitoring Activities Relating to the Caspian Sea. p29.

Oceanic and Atmospheric Science Center 2006. National Report of I. R. of Iran on Hydrometeorological and Pollution Monitoring Activities Relating to the Caspian Sea. p17.

Rezaei, M. 1994. Review on Caspian Sea Fluctuations and its Relation with Wind, MMA. Mar. Technol. Sci. Univ. 3:19-29.

Rodionov, S. 1994. Global and Regional Climate Interaction: The Caspian Sea Experience. NCAR, p150.

از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۳ تبخیر کاهش می یابد و از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ تبخیر افزایش می یابد.

بین دما و تبخیر همبستگی وجود دارد و در تمام پنج ایستگاه میزان تبخیر از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۸ افزایش می یابد.

بارندگی به طور متناوب در همان ایستگاه ها و دوره زمانی تغییر می کند. افزایش تبخیری که در این مطالعه مشاهده گردید با کاهش بارندگی همراه بود که این موضوع می تواند به دلیل افزایش ساعات ابرناکی و کاهش تابش خورشیدی باشد.

وهم چنین نتایج کلی از مجموعه مورد مطالعه به صورت زیر حاصل می شود.

- نرخ بارندگی در چند سال اخیر کاهش داشته است.

- رابطه معنی داری بین دما و تبخیر منجر به بارش، در سواحل خزر وجود ندارد.

- عوامل متعدد دیگری مانند اثرات تکتونیکی و یا عوامل انسانی در تغییرات نوسان آب دریای خزر ممکن است مؤثر واقع شوند.

## منابع

باقری راد، م. ۱۳۸۶. بررسی دبی رودخانه ولگا، بارش و تبخیر بر روی نوسان تراز آب دریای خزر با استفاده از آنالیز فوریه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

عزیز پور مهمانداری، ج.، بنازاده ماهانی، م.، محمدزاده درودی، م. ۱۳۸۷. تحلیل سری زمانی تراز آب دریای خزر با استفاده از داده های ماهواره های ارتفاع سنجی. علوم و فنون دریایی ایران، ۲۷: ۸۷-۹۸.

قانقرمه، ع، ملک، ج. ۱۳۸۴. همزیستی مسالمت آمیز با نوسانات آب دریای خزر به منظور توسعه